

EVALUASI POTENSI JARINGAN SARAF TIRUAN DALAM MEMPREDIKSI RESPONS STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT BERDASARKAN SPEKTRA GEMPA DI WILAYAH INDONESIA

Vindy Salim¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Iskandar Romey Sitompul²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : vindy.salim@student.unri.ac.id

Abstract

Design of quake resistance building is very important in Indonesia, where most of Indonesia's region located in quake zone with low to high intensity. Analysis of structure response can be done by using the help of finite element software, but needs time and is complicated when designing takes place. One of the solution in analyzing structure response faster and easy to operate is with using Artificial Neural Network (ANN). Deciding transfer function in ANN analysis is important as it can ease our ANN analysis based on displacement, velocity, and acceleration as input data. This research is intended to evaluate structure response based on variation of quake load based on location of Indonesia' capital of province, which are 34 provinces. With the help of finite element software analysis, total data obtained for JST is 1836 data. In this research, the composition used for training, testing, and validation for whole data is 60%, 20%, and 20% respectively. Input parameters are quake data, soil type, and elevation, meanwhile for output is structure response for each direction. Testing result showed that the accuracy of ANN in predicting structure response reach 99%. Evaluation result of ANN analysis showed that transfer function of Tan-Sigmoid and Purelin gives good prediction with Tan-Sigmoid as the best one with 99% accuracy. ANN analysis result showed that irregular buildings have 99% accuracy for training and testing, meanwhile regular buildings has about 90% for training and testing. This showed that ANN with function transfer Tan-Sigmoid can be used for predicting structure response fast and accurately, as well can be used as reference for designer in designing quake resistance building.

Key Words: Artificial Neural Network, structure response value, finite element software, response spectrum, Tan-Sigmoid

PENDAHULUAN

Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting di Indonesia, mengingat sebagian besar wilayah Indonesia terletak dalam wilayah gempa dengan tingkat intensitas yang rendah hingga tinggi.

Beberapa gempa besar yang pernah terjadi di Indonesia antara lain gempa Padang (2009) dan gempa Bengkulu (2007). Gempa Padang memiliki kekuatan gempa sebesar 7,9 SR, disusul dengan 2 gempa berkekuatan 6,2 SR dan 7,0 SR, yang mengakibatkan ribuan bangunan

runtuh yang memakan korban jiwa ± 1200 orang (Rosyidi et al., 2011). Selain itu, gempa yang terjadi di Bengkulu juga merupakan gempa yang kuat dengan kekuatan gempa 7,9 SR dengan durasi gempa yang cukup lama kurang lebih 90 detik dan meninggalkan banyak kerugian materiil serta terdapat korban jiwa akibat runtuhnya bangunan (Westra, 2010).

Dengan banyaknya kerusakan yang diakibatkan oleh gempa besar terutama untuk struktur bangunan, maka diperlukan suatu perencanaan struktur tahan gempa

yang dapat melindungi para penghuninya pada saat gempa besar terjadi atau setidaknya dapat mencegah keruntuhan mendadak sehingga para penghuni dapat mengevakuasi diri terlebih dahulu. Dalam perencanaan struktur tahan gempa, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah respons struktur akibat spektra gempa. Namun untuk mendapatkan hal tersebut diperlukan waktu yang lama dan tidak mudah, sehingga diperlukan suatu alternatif yang dapat digunakan untuk membantu dalam menentukan respons struktur. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan bantuan Jaringan Saraf Tiruan (JST).

JST merupakan salah satu cabang ilmu Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) yang banyak digunakan di bidang sains dan teknologi karena mampu memodelkan hubungan antara variabel yang kompleks dengan nonlinearitas tinggi. Dalam bidang sipil, tidak sedikit peneliti yang menggunakan bantuan JST untuk melakukan suatu prediksi hasil yang diinginkan, seperti respons struktur.

Kajian sebelumnya mengenai JST untuk memprediksi respons struktur berdasarkan peta gempa Indonesia 2010 telah dilakukan oleh Jingga (2015). Dalam kajian tersebut, model struktur berupa gedung bertingkat menggunakan analisis respons spektra gempa untuk wilayah Sumatera. Untuk pengembangan kajian Jingga (2015) tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai respons struktur gedung bertingkat akibat spektra gempa untuk seluruh wilayah Indonesia menggunakan JST.

Berdasarkan uraian di atas, maka kajian ini difokuskan untuk memprediksi respons struktur bangunan bertingkat terhadap Spektra Gempa di 34 ibukota provinsi di wilayah Indonesia menggunakan JST dengan acuan terhadap SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana respons struktur gedung bertingkat di wilayah Indonesia berdasarkan Desain Spektra Gempa

dengan bantuan *software* elemen hingga. Selain itu, penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui seberapa akuratnya JST dengan fungsi transfer dan jumlah neuron pada *hidden layer* yang bervariasi dalam memprediksi respons struktur.

TINJAUAN PUSTAKA

Desain Spektrum Respons Gempa Indonesia

Spektrum respons desain adalah suatu spektrum yang di-*plot* dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara periode getar struktur (T) terhadap respons-respons maksimum berdasarkan redaman dan gempa tertentu yang dapat berupa simpangan maksimum (S_d), kecepatan maksimum (S_v), atau percepatan maksimum (S_a).

Spektrum respons desain untuk wilayah Indonesia diatur dalam SNI 1726-2012. Adapun prosedur untuk memperoleh grafik spektrum respons desain di seluruh wilayah Indonesia adalah sebagai berikut.

1. Menentukan parameter percepatan respons spektral gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek (S_s) dan parameter percepatan respons spektral gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik (S_1) berdasarkan peta gempa Indonesia.
2. Menentukan kelas situs berdasarkan kondisi tanah.
3. Menentukan koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}).
4. Menghitung parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}).
5. Menghitung besarnya nilai T_0 dan T_s .
6. Menghitung spektrum respons percepatan desain (S_a) kemudian menggambarkan grafiknya.

Analisis Getaran Bebas Struktur

Analisis getaran bebas struktur (*free vibration*) adalah analisis linear dinamik yang dilakukan untuk memperoleh pola perpindahan dan frekuensi getar struktur yang bergetar secara alami tanpa pengaruh beban luar (Computer & Structures, Inc, 2013). Analisis getaran bebas disebut juga dengan analisis ragam (*modal analysis*).

Analisis Spektrum Respons Ragam

Analisis spektrum respons ragam adalah analisis struktur linear dinamik untuk memperoleh respons struktur maksimum yang telah memperhitungkan kontribusi ragam getar alami struktur yang lebih tinggi. Parameter respons struktur maksimum, yaitu percepatan, perpindahan, dan kecepatan merupakan fungsi dari periode getar struktur yang diperoleh dari analisis ragam (*modal analysis*).

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.9.1, jumlah ragam yang digunakan harus memenuhi syarat yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi harus melebihi 90% dari massa aktual pada masing-masing arah struktur (X dan Y).

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.10.4.1, untuk memperhitungkan pengaruh daerah retak dan pembebanan jangka panjang, parameter kekakuan material dan komponen struktur harus mengikuti persyaratan yang ditetapkan sebagai berikut.

1. Modulus elastisitas beton normal, $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$ dimana satuan E_c dan f'_c adalah MPa.
2. Momen inersia komponen struktur (I) harus diambil sebagai berikut.
 - a. Komponen struktur tekan:
 - 1) Kolom $0,70I_g$
 - 2) Dinding (tak retak) $0,70I_g$
 - 3) Dinding (retak) $0,35I_g$
 - b. Komponen struktur lentur:
 - 1) Balok $0,35I_g$
 - 2) Pelat datar (*flat plates*) dan slab datar (*flat slabs*) $0,25I_g$
3. Luas $1,0A_g$

Catatan: I_g adalah momen inersia penampang bruto beton terhadap sumbu pusat dan A_g adalah luas penampang bruto beton.

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.9.2, simpangan antar lantai yang diperoleh dari analisis elastis harus dimodifikasi dengan faktor pengali.

Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Networks*)

Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan model perhitungan yang terinspirasi oleh cara kerja neuron. Neuron menerima sinyal melalui sinapsis yang berada pada dendrit atau membran neuron. Ketika sinyal yang diterima telah cukup (melebihi batas tertentu), neuron akan aktif dan memberikan sinyal menuju axon. Sinyal ini dapat terkirim ke sinapsis lainnya dan mengaktifkan neuron lainnya.

JST pada umumnya terdiri atas 3 lapisan yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. Nilai yang dimasukkan kedalam neuron *input layer* berupa data langsung dari luar, sedangkan *hidden layer* merupakan lanjutan dari *input layer* (menerima *output* yang dihasilkan dari *input layer*) dan melanjutkannya ke *output layer*. Lapisan pada *hidden layer* dapat lebih dari satu. *Output layer* berisi neuron-neuron yang merepresentasikan target dan *output* dari model perhitungan. Perbedaan antara target dengan *output* dari JST disebut tingkat kesalahan JST.

Sejarah teori JST dimulai dari tulisan yang ditulis oleh McCulloch dan Pitts pada tahun 1943 yang menyatakan bahwa JST yang sederhana dapat menyelesaikan berbagai fungsi arimatik dan fungsi logikal. Program JST pertama kali dikembangkan pada tahun 1957 oleh Frank Rosenblatt et al.

Salah satu jenis JST yang sering digunakan untuk memprediksi suatu hal adalah JST *Backpropagation* (BP). JST *Backpropagation* (BP) merupakan JST yang paling umum ditemukan dan digunakan. Ada dua proses perhitungan

yang dilakukan dalam JST *Backpropagation*, yaitu perhitungan maju (*forward*) dan perhitungan mundur (*backpropagation*). Dalam perhitungan maju, data dimasukkan kedalam neuron *input layer* yang akan dilanjutkan ke *hidden layer* dan berakhir pada *output layer*. Perhitungan maju tersebut akan menghasilkan nilai *output* dari prediksi JST dan akan dibandingkan dengan nilai *output* yang sebenarnya (nilai target). Perbedaan antara kedua nilai tersebut disebut dengan *error*. Nilai *error* tersebut kemudian digunakan untuk memodifikasi faktor *weight* JST *Backpropagation* (BP) dalam proses perhitungan mundur dari *output layer* ke *input layer*.

Proses iterasi dilakukan sampai tingkat kesalahan JST BP sudah lebih kecil dari batas tingkat kesalahan (*MSE*) yang diinginkan. Namun, proses iterasi juga dapat berhenti jika jumlah iterasi sudah terlalu banyak dan tingkat kesalahan tidak menunjukkan pola penurunan.

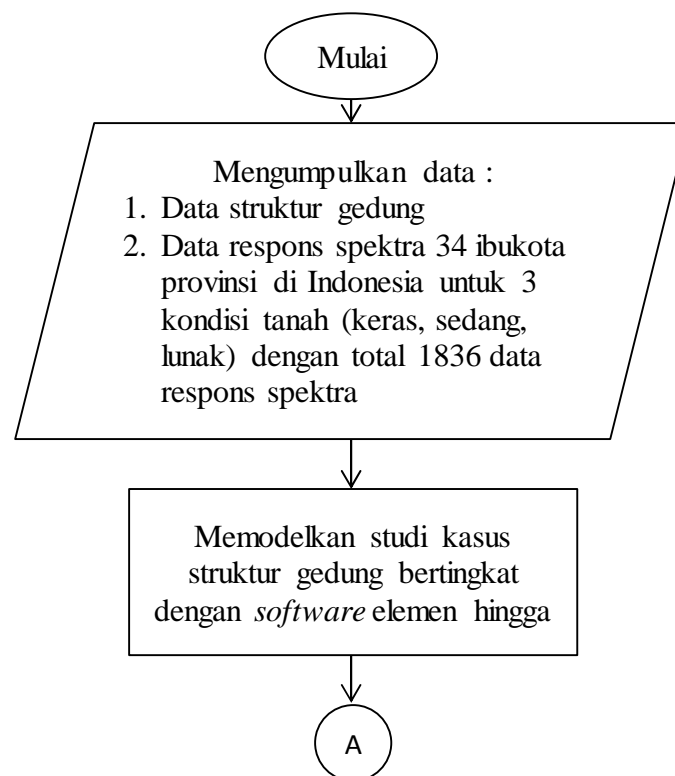
Selain menghitung nilai *MSE*, juga dihitung nilai koefisien determinasi (R^2)

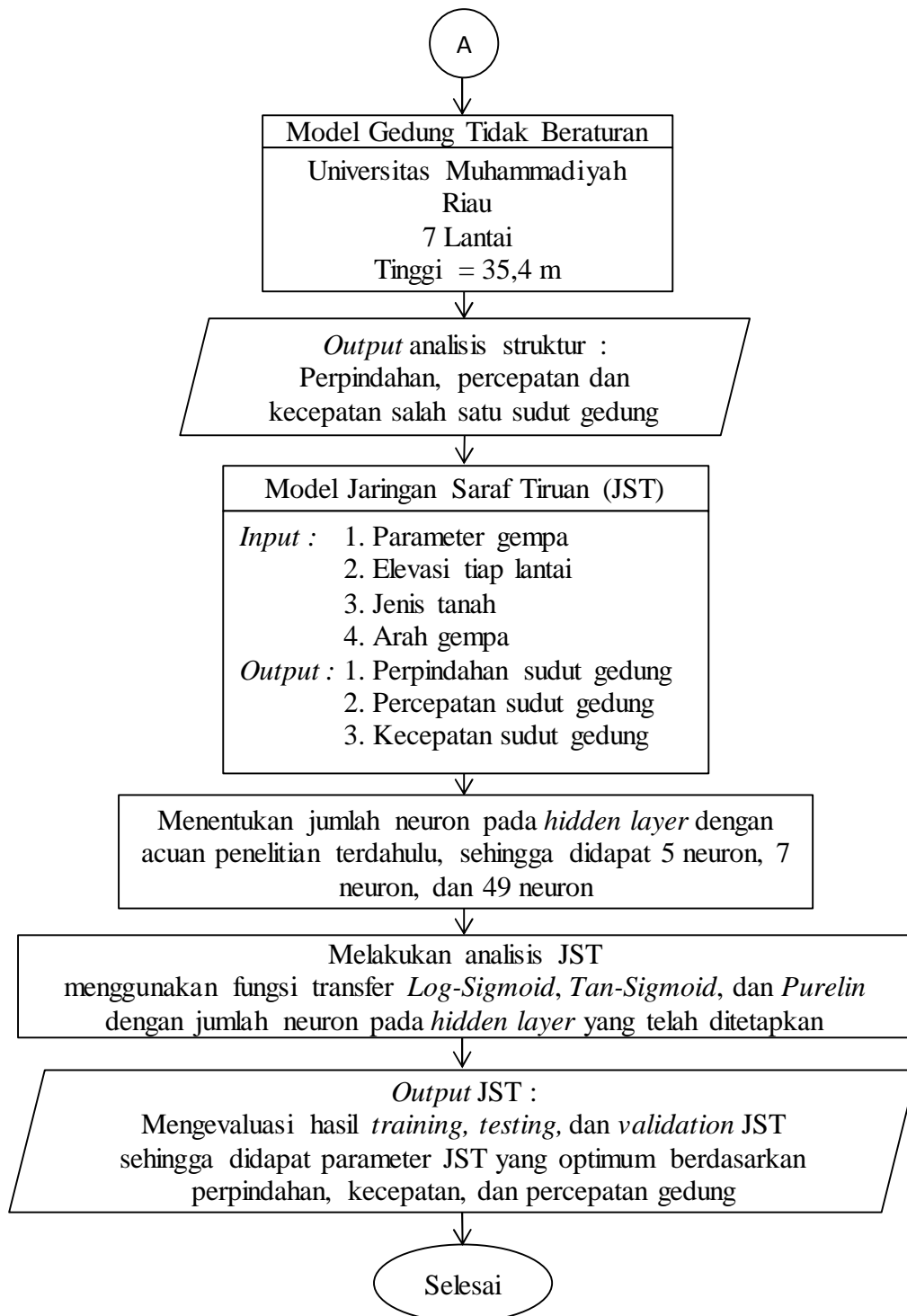
untuk menentukan keakuratan hasil prediksi JST. Apabila nilai R^2 semakin mendekati 1, hal ini menunjukkan bahwa hasil prediksi JST semakin dekat dengan yang sebenarnya (target).

Pada umumnya, parameter *input* dan target JST BP memiliki rentang nilai yang berbeda-beda. Untuk mengurangi ketidakseimbangan antara nilai *input* dan *output* maka data JST perlu dinormalisasikan terlebih dahulu.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data berupa data struktur dan data respons spektra. Setelah itu dilakukan pemodelan struktur menggunakan *software* elemen hingga. Dilanjutkan dengan beberapa proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis JST dalam memprediksi respons gedung. Secara keseluruhan proses pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2.





Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

ANALISA HASIL PENELITIAN

Analisis Getaran Bebas Struktur Gedung Bertingkat (*Modal Analysis*)

Hasil dari analisis getaran bebas struktur berupa faktor partisipasi massa

ragam dan periode getaran bebas struktur. Untuk hasil partisipasi massa ragam dapat dilihat pada Tabel 1. Dalam penelitian ini, analisis ragam dilakukan hingga ragam ke-40 menggunakan *Ritz-vectors*.

Tabel 1 Partisipasi Massa Ragam

Partisipasi Massa Ragam (%)		
Arah X	Arah Y	Arah Z
98,03	97,52	31,71

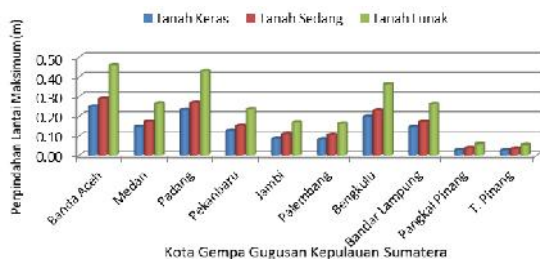
Analisis Spektrum Respons Ragam

Hasil dari analisis spektrum respons ragam berupa perpindahan, kecepatan, dan perpindahan. Sebagian hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 5. Terlihat bahwa kondisi tanah lunak cenderung lebih besar nilainya.

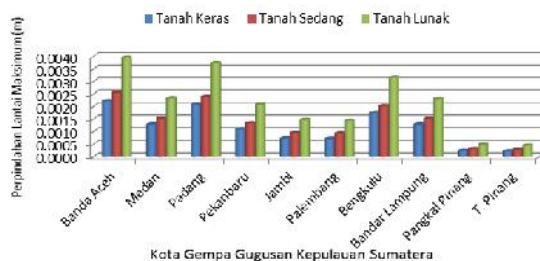
Dalam penelitian ini juga dilakukan pemeriksaan syarat perpindahan antar lantai.



Gambar 3. Perpindahan Lantai Maksimum Arah X Kepulauan Sumatera



Gambar 4. Percepatan Lantai Maksimum Arah Y Kepulauan Sumatera



Gambar 5. Kecepatan Lantai Maksimum Arah Z Kepulauan Sumatera

Prediksi Metode Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Parameter untuk *input* JST dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Peak ground acceleration (PGA)*.
2. Percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}).
3. Periode percepatan puncak awal (T_0).
4. Kondisi tanah, yaitu diberi kode 0 untuk tanah keras, 1 untuk tanah sedang, dan 2 untuk tanah lunak.
5. Elevasi lantai yang ditinjau.
6. Arah gempa, yaitu diberi kode 0 untuk arah X dan kode 1 untuk arah Y.

Parameter untuk target (*output*) JST dalam penelitian ini adalah perpindahan lantai, kecepatan lantai, dan percepatan lantai untuk respons struktur arah X, Y, dan Z (9 neuron).

Set data *input* untuk *training*, *testing*, dan *validation* JST serta target (*output*) terdapat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Set Data *Input* untuk Analisis JST

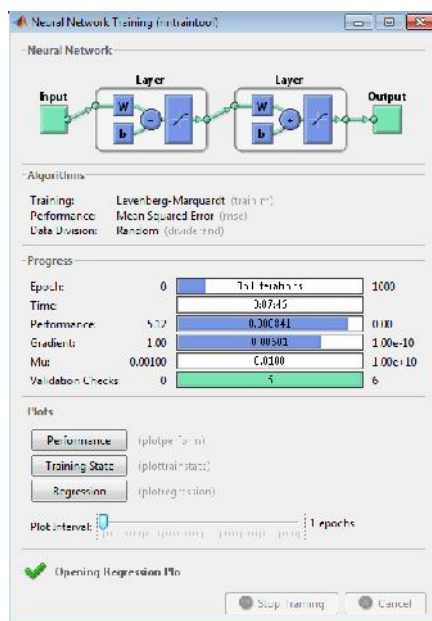
No.	Lokasi Gempa	Parameter <i>Input</i> JST					
		PGA (g)	SDS (g)	T_0 (detik)	Kondisi Tanah	Elevasi Lantai (m)	Arah Gempa
1.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	0	0
2.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	3,4	0
3.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	7,9	0
4.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	11,9	0
5.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	15,9	0
6.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	19,9	0
7.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	23,9	0
8.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	27,9	0
9.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	31,9	0
10.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	0	1
11.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	3,4	1
12.	Banda Aceh	0,621	0,899	0,124	0	7,9	1
...
1835.	Yogyakarta	0,529	0,82	0,112	1	27,9	1
1836.	Yogyakarta	0,529	0,82	0,112	1	31,9	1

Catatan: Kondisi tanah keras = 0, kondisi tanah sedang = 1, kondisi tanah lunak = 2
Arah gempa X = 0, arah gempa Y = 1

Tabel 2 Set Data Target (*Output*) untuk Analisis JST

No.	Lokasi Gempa	Parameter Target (<i>Output</i>) JST								
		Perpindahan (m)			Kecepatan (m/s)			Percepatan (m/s^2)		
		Arah X	Arah Y	Arah Z	Arah X	Arah Y	Arah Z	Arah X	Arah Y	Arah Z
1.	Banda Aceh	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2.	Banda Aceh	0.0015	0.0006	0.0005	2.9284	1.2870	0.2602	0.0254	0.0110	0.0042
3.	Banda Aceh	0.0271	0.0140	0.0010	4.6546	2.8275	0.2317	0.2402	0.1098	0.0067
4.	Banda Aceh	0.0530	0.0290	0.0013	5.9273	2.7288	0.3423	0.4116	0.1925	0.0091
5.	Banda Aceh	0.0824	0.0447	0.0016	6.0533	2.6792	0.2299	0.5766	0.2692	0.0111
6.	Banda Aceh	0.1134	0.0599	0.0019	6.2217	2.9292	0.3017	0.7433	0.3401	0.0128
7.	Banda Aceh	0.1447	0.0738	0.0020	6.3783	2.7022	0.2585	0.9194	0.4050	0.0141
8.	Banda Aceh	0.1752	0.0859	0.0021	6.6612	2.8224	0.3701	1.1122	0.4700	0.0150
9.	Banda Aceh	0.2017	0.0954	0.0022	9.1788	3.7955	0.3832	1.3007	0.5329	0.0153
10.	Banda Aceh	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11.	Banda Aceh	0.0007	0.0009	0.0004	1.3685	3.0517	0.4146	0.0122	0.0196	0.0033
12.	Banda Aceh	0.0174	0.0361	0.0009	2.3905	5.2964	0.3555	0.1311	0.2709	0.0059
...
1835.	Yogyakarta	0.0919	0.1848	0.0018	3.4869	5.7868	0.2887	0.5417	0.9845	0.0126
1836.	Yogyakarta	0.1040	0.2058	0.0018	4.8802	7.8925	0.3568	0.6295	1.1294	0.0129

Setelah memasukkan nilai JST untuk *training*, *testing*, dan *validation*, didapatkan analisis JST yang baik adalah dengan total *epoch* sebanyak 153 *epochs*, perlu diketahui bahwa dilakukan analisis JST berkali-kali terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil tersebut, hal ini disebabkan karena JST merupakan prediksi dan faktor bobot awalnya dimulai dengan angka-angka yang *random*. Untuk memahami hasil prediksi JST lebih baik, dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



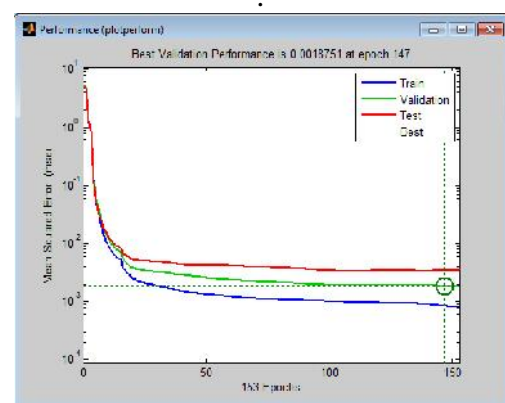
Gambar 6 Screenshot Jumlah Epoch

Tabel 3 menunjukkan kinerja JST untuk variasi fungsi transfer dan variasi jumlah neuron pada *hidden layer*. Dari hasil tersebut, fungsi transfer *Tan-Sigmoid* memiliki nilai MSE yang terkecil yaitu 0,002 dengan jumlah 49 neuron pada *hidden layer*. Nilai R yang mendekati 1 juga terdapat pada fungsi transfer *Tan-Sigmoid* yaitu sebesar 0,999 untuk *training*, *testing*, dan *validation*. Nilai R yang semakin dekat dengan 1 menunjukkan bahwa hasil prediksi mendekati yang sebenarnya. Namun, fungsi transfer yang tergolong baik hanya pada *Tan-Sigmoid*

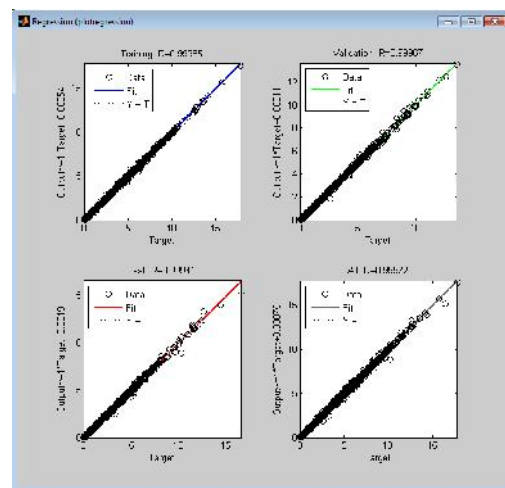
dan *Purelin*, hal ini dapat ditunjukkan dari nilai R yang sangat tinggi yaitu mencapai 90%. Untuk lebih jelas, hasil analisis JST *Tan-Sigmoid* juga dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Tabel 3 Kinerja JST dalam Memprediksi Respons Struktur

No	Fungsi Transfer	Neuron Hidden Layer	Jumlah Epoch	MSE	R		
					Train	Test	Validation
1	Log-Sigmoid	5	28	9,089	0,686	0,666	0,682
2	Log-Sigmoid	7	20	9,193	0,686	0,686	0,662
3	Log-Sigmoid	49	11	9,139	0,677	0,684	0,692
4	Tan-Sigmoid	5	583	0,016	0,997	0,996	0,997
5	Tan-Sigmoid	7	210	0,011	0,998	0,998	0,998
6	Tan-Sigmoid	49	153	0,002	0,999	0,999	0,999
7	Purelin	5	13	0,358	0,935	0,936	0,936
8	Purelin	7	10	0,335	0,936	0,973	0,935
9	Purelin	49	8	0,360	0,935	0,944	0,931



Gambar 7 MSE *Tan-Sigmoid* dengan 49 Neuron pada *Hidden Layer*



Gambar 8 Grafik R *Tan-Sigmoid* dengan 49 Neuron pada *Hidden Layer*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Nilai-nilai perpindahan, percepatan, dan kecepatan cenderung lebih besar pada bagian atas gedung dari keseluruhan bentuk struktur. Ragam ke-1 memiliki kontribusi atau pengaruh terbesar dalam menentukan nilai perpindahan, percepatan, dan kecepatan.
2. Pola perpindahan, kecepatan, dan percepatan dipengaruhi oleh hal berikut ini.
 - a. Percepatan puncak (S_{Ds}), semakin besar S_{Ds} untuk suatu kondisi tanah, menyebabkan nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan juga akan semakin besar. Nilai S_{Ds} yang berbeda untuk setiap lokasi dan kondisi tanah menyebabkan nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan maksimum dapat terjadi pada kondisi tanah keras, sedang, dan lunak.
 - b. *Mode-mode* dengan partisipasi massa yang besar untuk translasi arah X atau Y merupakan *mode* dengan periode yang besar, sedangkan *mode* dengan partisipasi massa yang besar untuk translasi arah Z merupakan *mode* dengan periode kecil.
3. Hasil analisis terhadap simpangan antar lantai untuk 34 ibukota provinsi menghasilkan Kota Palu yang memiliki simpangan antar lantai terbesar dan tidak memenuhi simpangan antar lantai izin maksimum menurut SNI. Hal ini disebabkan karena Kota Palu memiliki gempa yang terkuat berdasarkan peta gempa Indonesia 2010.
4. Analisis JST *training*, *testing*, dan *validation* menghasilkan tingkat akurasi yang sangat akurat yaitu sekitar 99% untuk *output* yang ditinjau

(perpindahan, percepatan, dan kecepatan).

5. Variasi neuron pada *hidden layer* ditentukan berdasarkan penelitian terdahulu sehingga didapatkan jumlah neuron pada *hidden layer* sebanyak 5 neuron, 7 neuron, dan 49 neuron.
6. Fungsi transfer *Tan-Sigmoid* dan *Purelin* memiliki nilai R melebihi 90% sehingga tergolong baik/akurat untuk ketiga kasus variasi neuron *hidden layer*. Namun, fungsi transfer *Log-Sigmoid* tidak memberi hasil yang akurat yaitu kurang lebih 68% untuk ketiga kasus variasi neuron *hidden layer*. Dari ketiga fungsi transfer tersebut, fungsi transfer *Tan-Sigmoid* dengan 49 neuron *hidden layer* memberikan hasil yang terbaik yaitu 99%.
7. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur gedung tidak beraturan lebih efektif dalam menggunakan analisis JST daripada struktur gedung beraturan 10 lantai (Jingga, 2015). Nilai akurasi parameter perpindahan, percepatan, dan kecepatan untuk *training* pada gedung beraturan adalah 97%, 85%, dan 95% secara berurutan, sedangkan pada gedung tidak beraturan memiliki tingkat akurasi 99% untuk seluruh parameter *output*. Pada hasil *testing*, tingkat akurasi perpindahan, percepatan, dan kecepatan pada gedung beraturan adalah 96%, 84%, dan 92% secara berurutan, sedangkan untuk gedung tidak beraturan adalah 99% untuk seluruh parameter *output*.

SARAN

1. Parameter *input* dan *output* JST diberi variasi untuk memperoleh hasil prediksi *output* yang lebih baik.
2. Jumlah neuron pada *hidden layer* dapat diberi variasi untuk meningkatkan kemampuan prediksi JST.
3. Jumlah neuron pada *hidden layer* menurut Jinchuan dan Xinzhe dan

fungsi transfer *Tan-Sigmoid* dapat dijadikan sebagai acuan pemilihan jumlah neuron pada *hidden layer* dan fungsi transfer untuk kasus-kasus yang lain.

4. Untuk penelitian berikutnya, JST dapat di-hybrid dengan *Artificial Intelligence* lainnya seperti *Fuzzy Logic* dan *Genetic Algorithm*.
5. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan membuat suatu program yang dapat memprediksi *output* respons struktur bangunan yang berada di seluruh wilayah Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfiadi, Y., & Satyarno, I. (2013). *Perbandingan Spektra Desain Beberapa Kota Besar di Indonesia dalam SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2002 (233S)*. Paper presented at the Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7), Universitas Sebelas Maret (UNS) - Surakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726-2012: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- Basheer, I., & Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of Microbiological Methods*, 43(1), 3-31.
- Bojórquez, E., Bojórquez, J., Ruiz, S. E., & Reyes-Salazar, A. (2012). Prediction of inelastic response spectra using artificial neural networks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- Che, Z.-G., Chiang, T.-A., & Che, Z.-H. (2011). Feed-forward neural networks training: A comparison between genetic algorithm and back-propagation learning algorithm. *Int. J. Innov. Comp. Inf. Control*, 7(10), 5839-5851.
- Computer and Structures, Inc. (2013). Modal Analysis. Diakses pada 10 April 2015 dari <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Modal+analysis>.
- Jingga, H. (2015). *Prediksi Respons Struktur Bangunan Berdasarkan Spektra Gempa Indonesia di Pulau Sumatera Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan*. (S1), Universitas Riau, Pekanbaru.
- Lee, S. C., & Han, S. W. (2002). Neural-network-based models for generating artificial earthquakes and response spectra. *Computers & structures*, 80(20), 1627-1638.
- Mardiyono, M., Suryanita, R., & Adnan, A. (2012). Intelligent monitoring system on prediction of building damage index using artificial neural network. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 10(1), 155-164.
- PUSKIM dan PPMB-ITB. (2011). "Desain Spektra Indonesia." Diakses pada 21-1, 2016.
- Rosyidi, S. A. P., Jamaluddin, T. A., Lim, C. S., & Taha, M. R. (2011). Kesan Gempa 7.6 Mw Padang Indonesia, 30 September 2009 (Earthquake impacts of the Mw 7.6, Padang, Indonesia, 30 September 2009). *Sains Malaysiana*, 40(12), 1393-1402.
- Rutka, G. (2015). Neural network models for Internet traffic prediction. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 68(4), 55-58.
- Setio, H. D., Widarbo, R., & Rante Patta, P. (2008). Kontrol Vibrasi Aktif Pada Struktur Yang Mengalami Beban Dinamik Dengan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Dan Algoritma Genetik. *Dinamika Teknik Sipil*, 8(2), 137-148.
- Sheela, K. G., & Deepa, S. (2013). Review on methods to fix number of hidden neurons in neural networks.

- Mathematical Problems in Engineering*, 2013.
- Sutojo, T., Mulyanto, E., & Suhartono, V. (2010). *Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET.
- Westra, P. (2010). KONTRIBUSI GEOLOGI DALAM PEMBANGUNAN KOTA WILAYAH BENGKULU PASKA GEMPA BUMI. *Jurnal Penelitian Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu*, 16(1), 21-27.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics & Design*. United States of America: Pearson Education, Inc.